Dieterich

Nueva guía para la investigación científica

HEINZ
DIETERICH

Editorial 21

colección
ciencia y tecnología

3. Formulación de las hipótesis

3.1 Características de la hipótesis

Cuando se han delimitado o determinado los intereses de conocimiento del investigador y el objeto de investigación mediante los procedimientos del planteamiento del problema y del marco teórico, el investigador tiene que dar el paso a la formulación de las hipótesis. En ellas se retoman, en el fondo, los intereses de conocimiento originales, tal como han sido depurados y precisados en las oraciones tópicas. Pero las oraciones tópicas no son hipótesis ni pueden jugar el papel de éstas. Las hipótesis son enunciados en su propio derecho, con su propia forma sintáctica y capaces de ser contrastadas en la realidad.

La palabra *hipótesis* es de origen griego, donde significa poner abajo, semejante a la acepción del término latin *suppositio* y del castellano suposición. Hoy día se entiende como una afirmación *razonada* objetivamente sobre la propiedad de algún fenómeno o sobre alguna relación funcional entre variables (eventos).

Nuestro comportamiento práctico y los juicios que emitimos se basan en gran medida en suposiciones. Sin embargo, las suposiciones o conjeturas de la vida cotidiana muestran una serie de falacias que son incompatibles con la suposición científica y con el conocimiento objetivo; falacias, tales como generalizaciones indebidas (Las mujeres manejan mal.), utilización de términos semánticamente ambiguos (muy grande), contradicciones lógicas y razonamientos que no son verificables en la realidad.

Aclaremos que cuando hablamos de la elaboración de hipótesis científicas nos referimos a las hipótesis en las ciencias empíricas o fácticas, cuyos objetos de investigación son fenómenos del universo real, ya sean de la naturaleza, ya sean de la sociedad.

≠ matemática (relac lógica)

Aunque las suposiciones de las ciencias formales –como la matemática y lógica– comparten algunos estándares con las ciencias empíricas existen también algunas diferencias importantes, como, p.e., en lo referente al objeto de investigación y la prueba de verdad de la hipótesis. Mientras que la hipótesis de la ciencia empírica es una proposición aplicable a un determinado aspecto del universo natural o social, la hipótesis matemática o lógica es una proposición sobre las relaciones entre entidades abstractas o mentales (p.e., números o símbolos lógicos) o sus implicaciones.

Por lo tanto, la demostración de la falsedad o veracidad de ambos tipos de hipótesis es diferente. En la ciencia empírica, la hipótesis se considera comprobada, cuando los datos arrojados durante su contrastación confirman (con un determinado margen de error) la predicción original: en el caso de la hipótesis de primer grado, la presencia o ausencia de un fenómeno o de una propiedad de éste fenómeno; en el caso de las hipótesis funcionales, un determinado tipo de relación entre las variables del fenómeno de investigación.

En las ciencias formales, la prueba de las hipótesis no se puede realizar sometiéndolas a la contrastación con la realidad mediante el experimento, la encuesta, la observación o la documentación, por el simple hecho, de que no se refieren al universo real. La prueba de verdad de una hipótesis formal se

reduce, en consecuencia, a su consistencia frente al sistema abstracto (lógico o matemático) al que pertenece.

Es necesaria una segunda aclaración: en las composiciones condicionales o hipotéticas de la lógica –que tienen la forma de: *si p, entonces q*, y donde *p* y *q* son proposiciones cualesquieras– se llama a la primera componente (p) la *hipótesis* y a la segunda componente (q) la *tesis*. En nuestro trabajo, el término *hipótesis* se refiere a la composición condicional entera, es decir, *si p, entonces q*.

Volviendo a la discusión anterior, afirmamos que la formulación de la suposición o hipótesis de la ciencia empírica tiene que respetar ciertos estándares característicos establecidos por la ciencia moderna, entre las cuales mencionamos algunos básicos.

1. La hipótesis no debe contener palabras ambiguas o no-definidas. Es decir, los significados de todos los términos que la componen –sus intensiones y dominios de aplicabilidad (extensiones)– tienen que ser determinados de manera inequívoca. Por ejemplo, si se realiza una hipótesis sobre el aborto, debe de quedar claro, si el concepto se refiere al aborto natural, al inducido o a ambos.

Asimismo, la definición del concepto debe ser de tal manera que su comprensión sea posible de manera intersubjetiva, es decir, que otros estudiosos lo entiendan de la misma manera en que fue definido por nosotros.

Recordemos lo expuesto en el capítulo II, 1 sobre la delimitación de los conceptos en el espacio, tiempo y su dimensión semántica.

2. Cuando la hipótesis contiene términos generales o abstractos, deben ser operacionalizables. Esto

quiere decir, que tienen que tener referentes o correspondencias empíricas (hechos, objetos, fenómenos reales) que permitan someterlos a la contrastación empírica mediante uno de los cuatro métodos de contrastación. Por ejemplo, en la hipótesis: *La crisis económica de 1995 ha aumentado el número de suicidios en el país N*, no queda claro lo que significa *crisis económica* en la práctica. Se operacionaliza este concepto, asignándole determinados parámetros empíricos (reales), o, dicho de otra manera, "desglosándolo" en sus componentes reales, como, p.e.: la tasa de desempleo; la tasa de inflación; la devaluación de la moneda; el déficit del presupuesto federal, etcétera.

En la hipótesis: *Por el machismo del padre P, su hija H no lo quiere*, existe el mismo problema. El sentimiento que aprehenden los conceptos *querer* o *amor*, no se puede medir directamente en la realidad, hecho por el cual hay que operacionalizar el concepto, dándole parámetros o indicadores que sí son mensurables en la relación entre ambas personas, tales como: cuando P se enferma, H no se preocupa por él; H no procura pasar el tiempo con P, cuando le es posible; H nunca expresa elogios para P.

3. Términos abstractos, que no tienen referente empírico, no pueden formar parte de la hipótesis, porque la vuelven incontrastable. Por ejemplo, la conjetura: *Dios me dio lo que tengo*, es inaceptable científicamente, porque el término *Dios* no puede ser contrastado de manera empírica. Lo mismo vale para una conjetura como: *Por mala suerte no me dieron el trabajo* o *Los animales no tienen alma*, porque la extensión de *alma* es el conjunto vacío; no hay fenómeno real que lo satisfaga.

4. La hipótesis no debe contener términos valorativos, dado que éstos no son comprobables objetivamente. Por ejemplo: *La catedral de Colonia es más bella que la pirámide de Gizeh*, es un enunciado que no se puede verificar de manera intersubjetiva, dado que ambas obras cumplen con los cánones de la estética, resultando la valorización, por ende, una decisión subjetiva.

5. Cuando sea posible, debe formularse la hipótesis en términos cuantitativos, dado que su valor informativo es mayor que el de formulaciones cualitativas. Por ejemplo, en lugar de decir, *La clase media alta no fue muy afectada por la devaluación del dólar en un 5 por ciento*, habría que formular: *La clase social que tiene un ingreso de 30 a 40 mil dólares anuales, sufrió una reducción de su poder adquisitivo en un 8 por ciento por la devaluación del dólar en un 5 por ciento.*

6. La forma sintáctica de la hipótesis debe ser la de una proposición simple –en el caso de la hipótesis de constatación (primer grado)– o compuesta, en las hipótesis funcionales de segundo y tercer grado. En ningún caso puede tener la forma de interrogante, prescripción o deseo.

7. La hipótesis causal o estadística debe constar de sólo dos variables, dado que de otra forma se dificulta medir la relación entre las variables, p.e., entre la independiente (causa) y la dependiente (efecto). P.e., la hipótesis: *la inflación produce desempleo, pobreza y criminalidad*, tiene una variable independiente (inflación) y tres variables dependientes. En este caso conviene realizar tres hipótesis: H_1, *La inflación produce desempleo.* H_2, *La inflación produce pobreza.* H_3, *La inflación produce criminalidad.*

Por la misma razón no debe formularse la hipótesis con dos variables independientes, p.e.: *La pobreza y la injusticia producen violencia.*

8. La hipótesis debe excluir tautologías. Por proposiciones tautológicas se entienden enunciados o argumentos circulares que no proporcionan información sobre la realidad, porque el sujeto es idéntico total o parcialmente al predicado. Es decir, una tautología no distorsiona la verdad de un enunciado –de una premisa, p.e.–, pero no aporta nueva información contrastable sobre la realidad que es lo que interesa más en la ciencia.

Un enunciado tautológico de la matemática (enunciado formal o analítico) es, p.e., 5 + 3 = 8, donde el *definiendum* (5 + 3) y el *definiens* (8) tienen el mismo significado. Lo mismo vale para las proposiciones empíricas: *La democracia es la dominación del pueblo*, o *El efecto es la consecuencia de la causa*, debido a que el término *consecuencia* implica ya una relación causal.

9. Igualmente, la hipótesis debe evitar el uso de disyunciones, porque reducen su valor informativo. Las disyunciones aparecen en proposiciones compuestas del tipo *p ó q*, donde *p* y *q* son proposiciones cualesquiera.

La pérdida de valor informativo de la hipótesis por la disyunción se aprecia en el siguiente ejemplo: H_1; *Mañana, de las 08:00 a las 12:00 hrs habrá sol.* El valor informativo de esta proposición es alto, porque permite vestirse correspondientemente, planear los trabajos que se realizan al aire libre, etcétera. En cambio, en la H_2, *Mañana, de las 08:00 a las 12:00 hrs habrá sol o lluvia*, el valor informativo baja. Si se agrega otra disyunción, H_3, *Mañana, de las 08:00 a las 12:00 hrs habrá sol o lluvia o*

heladas, entonces la hipótesis se vuelve más estéril aún frente a la realidad, porque ya no tiene utilidad práctica.

Vemos que el valor informativo de la hipótesis aumenta, cuando predice solamente un acontecimiento de todos los posibles del fenómeno de investigación; en este caso el fenómeno es "el clima que habrá mañana de las 08:00 a las 12:00 hrs"; y el acontecimiento es que "habrá sol". En la medida en que la hipótesis integra como propiedad o consecuencia contrastable, más acontecimientos posibles del fenómeno, baja su valor informativo; en el caso extremo, cuando llega a incluir todos los eventos posibles, su valor informativo se reduce a cero.

Por dar otro ejemplo: los dos eventos posibles cuando se tira una moneda, son que ésta caiga del lado A o B. Si formulo una proposición hipotética que incluya los dos eventos posibles: *Si tiro una moneda, entonces caerá del lado A o B*, el valor informativo es cero, porque no limita los acontecimientos posibles.

Entre el valor informativo y la probabilidad de que el evento (el efecto) previsto por la hipótesis, se produzca, hay una relación inversa. A mayor número de eventos posibles incluídos en la hipótesis, mayor probabilidad de que ésta sea correcta. En el ejemplo de la moneda, el valor informativo es cero –porque no me dice nada nuevo–, pero la probabilidad de que sea correcta es 100 por ciento; es decir, el resultado de la hipótesis es cierto.

En cambio, si la hipótesis es, *Si tiro una moneda, entonces caerá del lado A*, el valor informativo es alto –p.e., puedo apostar sobre la hipótesis–; pero la probabilidad de que sea correcta es sólo un 50 por ciento. Al repetirse este ejemplo con un dado, la relación entre valor informativo y probabilidad de que la hipótesis sea verdadera, se vuelve más claro aún.

En rigor, hipótesis empíricas que incluyen todos los acontecimientos posibles del fenómeno observado o bajo experimento, se vuelven imposibles de falsificar mediante la contrastación empírica, dado que se han inmunizado frente a la realidad: suceda el acontecimiento que suceda del fenómeno observado, la hipótesis siempre es correcta. Por tal motivo, este tipo de hipótesis no es científica; se vuelve circular (tautológica) y no aporta nuevos conocimientos.

10. Una hipótesis debe estar basada en el conocimiento científico ya comprobado y no contradecirlo. En las llamadas revoluciones epistemológicas una hipótesis nueva puede cambiar los principios establecidos en todo un campo de la ciencia, pero esto, obviamente es improbable en el caso de un principiante de investigación. Para su trabajo es válido como norma que su hipótesis no esté en contradicción con las teorías científicas establecidas, sino que, tome a éstas como punto de partida.

Por ejemplo, una hipótesis que establece que *La energía cósmica impide el envejecimiento de los seres vivos* y no puede demostrar que el término *energía cósmica* forma parte de la física establecida, no debería, en consecuencia, ser empleada por el principiante, porque lo más probable es que se trate de un concepto del pensamiento supersticioso o mágico; tendría sentido por parte del profesor permitir la investigación por razones pedagógicas, porque al desarrollarse el experimento de comprobación correspondiente, el alumno se convencerá

paso a paso, de que se trata de un concepto no-científico.

O una hipótesis del tipo: *Al soltar un gis sostenido por la mano a una altura de 150 cm, este gis ascenderá*, sería igualmente contradictoria con el conocimiento científico ya establecido que nos enseña que la fuerza de atracción de la tierra es múltiples veces mayor que la del gis, hecho por el cual este *descenderá* hacia el centro de la tierra, salvo, por supuesto, que el acto se realice en una nave espacial a cierta distancia de la tierra.

Por todo lo anterior resulta obvio que una hipótesis debe basarse en el conocimiento científico que existe sobre el fenómeno de investigación del estudioso, y que éste ha integrado oportunamente en su marco teórico. Si el marco teórico está bien realizado, la proposición hipotética no puede discordar con las leyes o conceptos científicos establecidos y no será especulativa o de sentido común.

11. La hipótesis debe, por ende, ser doblemente pertinente: a) en su referencia al fenómeno real de investigación y b) en el apoyo teórico que la sostiene.

12. La hipótesis debe referirse de manera preferente a aspectos de la realidad que no han sido investigados aún, dado que la finalidad básica del quehacer científico es la producción de nuevos conocimientos.

13. Finalmente, una característica de la hipótesis científica es su falibilidad. La ciencia avanza generalmente con aproximaciones sucesivas a la verdad. Esto implica, que las hipótesis comprobadas pueden irse perfeccionando en el tiempo, o sea, que son perfectibles.

3.2 Hipótesis de constatación (primer grado)

Definición: *Una hipótesis de constatación (de primer grado) es una proposición científica (un enunciado) que, con fundamento en el conocimiento científico trata de establecer (constatar) la presencia o ausencia de un fenómeno o de una propiedad (de una característica) de un fenómeno. A este fenómeno o característica lo llamamos metodológicamente la variable contrastable.*

Ejemplos: El 30 por ciento de los estudiantes de la UAM son mujeres. Un dólar estadunidense es equivalente a 8 pesos mexicanos. La persona A tiene infección del VIH.

En la discusión de las oraciones tópicas ya nos habíamos dado cuenta que hay enunciados temáticos de diferente tipo (primer, segundo, tercer grado), según el tipo de conocimiento que pretendemos producir. Lo mismo sucede con las proposiciones o enunciados hipotéticos, que muestran una multiplicidad de tipos diferentes. Sin embargo, para los fines de este libro, limitamos la discusión del tema a las hipótesis de constatación, de relación causal y relación estadística, iniciando la discusión con la primera.

Aunque este tipo de hipótesis no pretende ni puede dar *explicaciones* –es decir, establecer una relación de causa-efecto o estadística (correlación) entre diferentes factores o variables de un objeto de investigación–, no por eso representa indagaciones triviales (de escasa importancia) o fáciles de resolver.

Como explicamos en el punto anterior, la hipótesis –a diferencia de la oración tópica– no puede

tener la forma sintáctica de un enunciado interrogativo o intencional, es decir, no puede ser pregunta o expresión de un deseo, dado que ambas no son contrastables. De ahí, que tenemos que darle a nuestras hipótesis de primer grado la forma gramatical de un enunciado o una proposición afirmativa que contenga la variable, que se pretende contrastar. Recordemos que una proposición es una frase que afirma o niega algo y que en su forma clásica está compuesta por tres elementos: Sujeto – Verbo – Complemento. (En la gramática se denomina al verbo más el complemento como el predicado.)

Ejemplos de proposiciones o enunciados de este tipo son: la sangre del paciente P contiene el virus V; la tierra gira en torno al sol; 10 = 6+4; el ingreso promedio mensual de los estudiantes del grupo G es de 150 dólares.

Volviendo a nuestros temas de investigación, las oraciones tópicas de estas podrían convertirse en hipótesis de constatación de la siguiente manera:

La *O.T.2* del tema sobre la contaminación dice: El propósito de esta investigación es, saber en qué mes se dió la mayor concentración de plomo en el aire de la Ciudad de México en 1991.

La hipótesis correspondiente sería: *La concentración más alta de plomo en el aire de la Ciudad de México en 1991 se dió en el mes de diciembre.* ¿Por qué se seleccionó el mes de diciembre? Porque el marco teórico ha indicado que por los factores climatológicos de este mes, la probabilidad de una muy alta concentración de contaminantes es mayor que en otros meses. En este enunciado afirmativo, la contaminación aérea del D.F. en 1991 causada por el plomo es el fenómeno en cuestión; la propiedad que se quiere establecer, es decir, la variable contrastable, es: mayor concentración aérea de plomo en diciembre de 1991. Se contrasta esta hipótesis mediante las mediciones de contaminación que realizan instituticiones privadas o públicas.

La *O.T.1* de la investigación sobre el aborto dice: El propósito de esta investigación es, conocer la definición institucional del aborto en el Hospital X de la Ciudad de México en 1991. La hipótesis podría formularse de la siguiente manera: *La definición institucional del aborto en el Hospital X de la Ciudad de México en 1991 es idéntica con la definición del aborto en el código penal mexicano.* La variable que se contrasta es la identidad de ambas definiciones.

Para la *O.T.2* del mismo tema –El propósito de esta investigación es, saber si, conforme a esta definición, se presentaron abortos en el hospital X de la Ciudad de México en 1991– la formulaeión de la hipótesis es: *De acuerdo a la definición institucional del aborto en el hospital X de la Ciudad de México, se presentaron abortos en esa institución durante el año de 1991.* La variable a contrastar es la presencia o ausencia del fenómeno "aborto". La contrastación se realiza mediante entrevistas en el hospital o análisis de sus registros.

La formulación de la hipótesis para la *O.T.2* del tema de la acústica –El propósito de esta investigación es, saber si el grado de inteligibilidad de la palabra hablada en las aulas de la planta baja del edificio H de la UAM-X cumple con los estándares internacionales respectivos– podría hacerse como sigue: *El grado de inteligibilidad de la palabra hablada en las aulas de la planta baja del edificio H de la UAM-X cumple con los estandares internacionales respectivos.* La propiedad del fenómeno

que nos interesa, es decir, la variable a contrastarse es el grado de inteligibilidad de la palabra hablada, según los estandares internacionales respectivos. Se contrasta mediante la aplicación de pruebas auditivas y de comprensión respectivas.

Tomemos como siguiente ejemplo la *O.T.1* de la investigación sobre opiniones acerca de la sexualidad. Ese enunciado temático reza: El propósito de esta investigación es, saber si la opinión mayoritaria de los jóvenes capitalinos afirma el derecho a tener relaciones sexuales prematrimoniales. La hipótesis: *Más del 50 % de los jóvenes capitalinos opina que es un derecho tener relaciones sexuales prematrimoniales*. En este caso, la hipótesis pretende establecer la presencia de tal opinión en la mayoría de los jóvenes capitalinos, hecho por el cual se trata de la variable a contrastar. La contrastación se haría mediante censo o encuesta representativa.

Otros ejemplos de hipótesis de primer grado son: *El 30 por ciento de los estudiantes de la UAM en el trimestre 92/0 son mujeres*. La propiedad del fenómeno –la "variable"– que nos interesa en esta hipótesis, es el porcentaje de mujeres (30%) dentro del total de la población estudiantil de la UAM en el trimestre 92/0. Se constata la presencia o ausencia de esta propiedad mediante un análisis del registro estudiantil de la universidad, una muestra representativa o un censo.

Los basureros industriales estadunidenses contienen materiales radiactivos. El fenómeno (la variable), cuya presencia o ausencia nos interesa constatar, es el material radiactivo en los basureros industriales estadunidenses. La contrastación de esta hipótesis se haría mediante mediciones de la eventual radioactividad con un detector Geiger o el análisis de la documentación pertinente.

Otro ejemplo de una hipótesis descriptiva o constatativa sería: *El 8 por ciento de la población mexicana es indígena*. La propiedad (variable) que se investiga en esta hipótesis es el porcentaje indígena de la población mexicana. Su contrastación se realizaría mediante censo o encuesta demográfica representativa en México.

El paciente X sufre una infección de amibas. La propiedad (variable) a ser investigada es la presencia de protozoes denominados amiba histolítica. Se contrasta la variable mediante análisis clínico.

Del área de la investigación científica histórica podría formularse la siguiente hipótesis: *Agustín de Iturbide firmó la declaración de independencia de México*. Obviamente, la variable contrastable sería la firma de Iturbide en el documento original que se sometería a un análisis grafológico para verificar su autenticidad. Una forma menos rigurosa y, por ende, menos satisfactoria y segura, sería la existencia de algunos testimonios del acto de la firma del documento.

3.3 Hipótesis de relación causal (segundo grado)

Definición: *La hipótesis causal (segundo grado) es una conjetura científica (un enunciado) que, con fundamento en el conocimiento científico, trata de explicar una relación de dependencia causal entre dos o más variables del objeto de investigación.*

De las dos variables de la hipótesis, una se denomina variable independiente y la otra variable dependiente. La variable independiente es la que entendemos como la causa del fenómeno; la varia-

ble dependiente es el efecto (la consecuencia). Hay dos diferencias principales entre la causa y el efecto: 1. la causa antecede al efecto en el tiempo y 2. produce, efectivamente, el efecto. Ejemplos: El calor dilata los cuerpos. La sequía de primavera de 1996 en México produjo gran mortalidad de ganado. La capacidad pedagógica del maestro incide positivamente sobre el aprendizaje del alumno.

Este tipo de hipótesis debe tener la forma lógica de: Sí x....., entonces y...; es decir, ser una proposición condicional, en la que la causa o variable independiente aparece después del "sí" y el efecto o variable dependiente después del "entonces".

Para llegar a esta forma lógica se recomienda proceder en dos pasos. Primero se utiliza la forma de una proposición o enunciado afirmativo, p.e.: El calor dilata los cuerpos. En el segundo paso se convierte este enunciado en una proposición o enunciado condicional compuesto por dos proposiciones y la expresión: sí-entonces. Ejemplo: Si se aplica calor a un cuerpo, entonces este cuerpo se dilata.

Las hipótesis causales y estadísticas están destinadas a analizar una relación de interacción o dependencia entre dos o más variables del objeto de investigación. Para los fines de este libro es suficiente limitarnos a la discusión de dos tipos de interacción entre variables: las relaciones de causa-efecto y las relaciones de co-varianza o asociación o correlación. Antes de abocarnos a la discusión de la relación causa-efecto, conviene una breve aclaración sobre el término *causa*.

En la edad medieval (escolástica) los letrados diferenciaban hasta cuatro tipos de "causa": la *causa formalis*, semejante a lo que hoy entendemos por estructura; la *causa materialis*, referente a la materia de la que se compone un objeto; la *causa finalis*, que sería la finalidad de una cosa y, finalmente, la *causa efficiens*, cuyo contenido se aproxima al significado actual del término.(1)

En la física clásica como en amplios sectores de la filosofía se daba por verídica la existencia del principio de la causalidad, tal como se manifiesta en la formulación del filósofo alemán Immanuel Kant (1724-1804) que "todos los cambios (del universo) ocurren, siguiendo a la ley de las causas y los efectos". Para los fundadores de la física moderna, como Galileo y Newton, no había duda que el funcionamiento del universo se basaba en relaciones de causa y efecto; y que si se lograba aislar ciertos procesos de su conexión con la totalidad de la naturaleza –p.e. la caída de un cuerpo–, esas reglas de causa y efecto (causalidad) eran inteligibles al ser humano y reconstruibles en forma matemática.

La idea de este determinismo causal se puede entender como la suposición de que existen leyes naturales fijas, que determinan unívocamente el estado futuro de un sistema a partir del actual (2); y se puede formular de la siguiente manera: dado un evento *e1*, existe otro evento *e2* y un intervalo de tiempo *t*, tales que cuando ocurre *e1*, *e2* le sigue con necesidad, pasado el intervalo de tiempo *t*. (3)

Con el desarrollo de la física moderna –sobre todo el principio de indeterminismo o incertidumbre de Heisenberg y los trabajos de Maxwell, Gibbs, Planck y Boltzman– se ha introducido la noción de probabilidad al determinismo de la física newtoniana, sustituyéndose la *certeza* de un "efecto" a raíz

de una "causa" por un margen de probabilidad; asimismo se alteró radicalmente la definición de "magnitud observable" en el campo atómico. Por ejemplo, en cuanto a lo primero, en la mecánica newtoniana se suponía que la posición y el *momentum* de una partícula tienen un valor definitivo y verificable en cada instante, mientras que conforme al principio de incertidumbre de la teoría cuántica, ambos no se pueden medir simultáneamente con precisión. La relación determinista, en la cual *e2* sigue invariablemente a *e1*, sería entonces sólo un tipo de relación posible entre dos variables (eventos), dentro de una escala de probabilidades que va de 0 hasta 1. En esta escala, una medida de probabilidad menor a *0.5* implica que la relación determinada por la hipótesis, es improbable; si es mayor a *0.5* significa que es probable; si es igual a *1*, es certera y si es igual a *0*, es imposible.

En lo referente a las magnitudes observables, la teoría de Newton sostenía, p.e., que el radio de la órbita del electrón "en un estado fundamental del átomo de hidrógeno es siempre exactamente 5.3 x 10^{-11} m". En cambio, la mecánica cuántica afirma que éste es el radio más probable; si realizamos un experimento adecuado, "la mayor parte de las pruebas dará un valor distinto, más grande o más pequeño, pero el valor más probable será apróximadamente 5.3 x 10^{-11} m." (4)

Por lo anteriormente dicho, hay científicos que postulan, que la ciencia no busca explicar relaciones de causa-efecto, sino que trata de encontrar y medir relaciones funcionales invariantes (leyes) entre los fenómenos observados (variables), basadas en el principio de la uniformidad o regularidad de los procesos de la naturaleza.

Sin embargo, teniendo conciencia de este debate no resuelto –que constituye uno de los más complejos en la teoría del conocimiento científico (gnoseología o epistemología científica)–, utilizaremos en este libro la terminología de causa y efecto, entendiendo que significa una relación determinante de muy alta probabilidad, en la cual la situación determinista –la inevitabilidad del efecto a raíz de la causa– es un caso límite no muy frecuente en las teorías científicas; y que esta relación invariante (entre variables) con validez universal –es decir, con validez ilimitada en el espacio y tiempo (leyes universales)–, no se da con mucha frecuencia en el cosmos, porque la mayoría de las relaciones objetivas que reconstruimos como leyes científicas, sólo tienen validez dentro de determinados parámetros de espacio, tiempo y movimiento.(5)

Con estas salvedades epistemológicas podemos afirmar que el descubrimiento y la confirmación de una relación causal entre dos o más factores (variables) de un fenómeno social o natural es, en el fondo, el fin último del proceso de investigación científica. Porque el conocimiento de la relación causa-efecto entre dos eventos concatenados permite la *explicación* de su comportamiento legal (regular). Dado que la estructura lógica de una explicación es la misma que la de una *predicción*, la explicación nos da la clave para pronosticar el comportamiento futuro del fenómeno y este conocimiento nos permitirá dominarlo y utilizarlo para el beneficio del hombre.

Al inicio de este apartado mencionamos que de las dos variables de la hipótesis, una se denomina *variable independiente* y la otra *variable dependiente*. La variable independiente es la que enten-

demos como la causa de un fenómeno; la variable dependiente se entiende como el efecto (la consecuencia) de la causa. Utilizando símbolos de la matemática, podemos simbolizar a la variable independiente con "x" y a la variable dependiente con "y" y decir, que "y" es una función de "x".

Entre la causa y el efecto existen solamente dos diferencias significativas: a) la causa antecede al efecto en el tiempo y b) la causa provoca o produce efectivamente la consecuencia que entendemos como *efecto*. De ambas características se deriva que la relación causa-efecto no se puede invertir, como muestra el siguiente ejemplo de una hipótesis causal. En la hipótesis *El calor dilata los cuerpos*, la causa (variable independiente) es "el calor" y el efecto (la variable dependiente) es "la dilatación de los cuerpos". Si se invierte este orden aparece un enunciado sin sentido: *Los cuerpos dilatan el calor*.

O en otro ejemplo: El infarto cardiaco causó la muerte al ciudadano A. Invertir la relación produciría un enunciado absurdo, que diría: La muerte del ciudadano A causó el infarto cardiaco.

Cabe precaver, sin embargo, una influencia muy importante que puede llegar a ejercer el investigador en este contexto. Como decíamos antes, la acción que ejerce la causa sobre el efecto es real, objetiva y le es anterior en el tiempo. No obstante, dado que muchos fenómenos de la realidad están íntimamente concatenados entre sí o que forman partes de redes de fenómenos, o sistemas, es la selección del objeto de investigación, que realiza el investigador, que determina en la formulación de la hipótesis lo que se percibe como "causa" y como "efecto".

Con frecuencia, lo que el investigador percibe como causa (x) en el momento (n) de formular su hipótesis, ha sido en la realidad efecto (y) de una causa anterior en el tiempo (n-1). Asimismo, sucede el caso contrario en el cual el fenómeno que en el momento (n) de la formulación de la hipótesis es percibido como "efecto" (y) puede ser, en el momento n+1, en la realidad, la causa (x) de un efecto futuro.

Los siguientes ejemplos hipotéticos ilustran cómo el interés de conocimiento del investigador selecciona de la red de fenómenos interactivos una secuencia de dos eventos –cada uno vinculado a eventos anteriores y posteriores–, para poder analizarlos como variable independiente y variable dependiente, por medio de la hipótesis causal.

Ejemplo 1: El *efecto* de nuestra hipótesis en el momento *n*, aparece en una relación causal posterior (n+1) como *causa*. Supongamos que nuestra hipótesis en el momento *n* sea:

Si hay norte en Veracruz, entonces llueve en el D.F.
causa (x) *efecto (y)*

n+1: Si llueve en el D.F., entonces mucha gente se resfria.
causa *efecto*

n+2: Si mucha gente se resfria en el D.F., falta al trabajo.
causa *efecto*

Ejemplo 2: La *causa* de nuestra hipótesis en el momento *n*, figuró en una relación causal anterior (n-1) como *efecto*. Supongamos que nuestra hipótesis en el momento *n* sea:

Si hay norte en Veracruz, entonces llueve en el D.F.
causa (x) *efecto (y)*

causa	efecto
n-1: Si se produce un sistema meteorológico depresivo en el sureste estadunidense,	entonces hay norte en Veracruz.
n-2: Si hay fuerte intromisión de aire polar en el oeste medio estadunidense,	entonces se produce un sistema meteorológico depresivo en el sureste estadunidense.
n-3: Si el eje terrestre muestra un cierto ángulo frente al sol,	entonces hay fuerte intromisión de aire polar en el oeste medio estadunidense.

Podemos esquematizar, con base en lo anteriormente dicho, la relación entre las variables que denominamos "causa" y "efecto" y la variable tiempo, en una investigación científica, de la siguiente manera:

variables: x y x y x y x y x y x y x y

tiempo: ... n-3 n-2 n-1 *n* n+1 n+2

Para terminar la discusión sobre este aspecto de la temática causa-efecto –que es una de las más complejas tanto en las ciencias sociales como en las naturales– queremos aclarar brevemente una pregunta que surge con frecuencia en el salón de clase:

¿se inicia una investigación científica para prever el efecto que produce una causa conocida o se inicia, para encontrar y explicar la causa desconocida de un efecto observado? ¿Cuál es el motivo, en otras palabras, para formular una hipótesis?

La respuesta consiste, en que ambos casos suceden en la realidad. Una hipótesis se formula cuando nuestro conocimiento sobre una relación causal es deficiente o parcial y esto es válido tanto por la falta de conocimiento por el lado de la causa, como por el lado del efecto. Los siguientes ejemplos nos ilustran tal hecho.

Generalmente, cuando un enfermo acude a un consultorio médico, el punto de partida de la investigación del galeno es el efecto (variable dependiente), debido a que el médico sólo conoce los síntomas o el síndrome de la enfermedad que muestra el paciente. Es decir, de ambos polos de la relación causal: variable independiente (causa) y variable dependiente (efecto), sólo se conoce uno: el efecto. La tarea del médico consiste, por ende, en descubrir la causa que ha producido la enfermedad que percibe por la manifestación de los síntomas.

Para detectar la causa desconocida de la enfermedad, realiza una investigación científica con los siguientes elementos adquiridos durante su formación profesional. Se basa en su marco teórico –es decir, todos los conocimientos teóricos, métodos, conceptos, experiencias prácticas, etc., que ha aprendido durante su estudio universitario–; realiza la descripción científica del objeto de investigación –del paciente– en su estado actual con parámetros, tales como: la presión de sangre, la temperatura corporal (fiebre), la frecuencia cardiaca (pulso); elabora un marco histórico del objeto de investiga-

ción (paciente) que es su historia clínica y formula, finalmente –en su cabeza– la hipótesis, cuya función consistirá en encontrar el polo faltante de la relación de causa y efecto: en nuestro caso, la causa.

Al ver un determinado cuadro de sintomatología de malestar gastrointestinal, por ejemplo, su hipótesis diagnóstica sería: Una infección de la amiba histolítica produce la diarrea y los espasmos del paciente P. La contrastación de esta hipótesis se realiza mediante los correspondientes análisis de laboratorio.

Si se comprueba su hipótesis, formulará otra, destinada esta vez no al diagnóstico sino a la curación del paciente. Esta hipótesis tendría la siguiente estructura: Si el paciente toma durante tres días el medicamento X, se le quitarán las amibas. Nuevamente, la veracidad de esta hipótesis terapeútica se comprobará mediante análisis clínicos, terminado el plazo previsto de tres días.

Un ejemplo contrario, donde se conoce la causa, pero no el efecto, puede tomarse de la economía. Como es de conocimiento general, los impuestos fiscales tienen un efecto considerable sobre la capacidad adquisitiva en una economía nacional. Cuando el gobierno aumenta, por ejemplo, el impuesto agregado sobre el valor (IVA) del 10 al 15 por ciento, a los ciudadanos les queda menos capacidad de compra. El dilema del gobierno consiste entonces en acertar en la tasa adecuada del aumento fiscal: si el incremento del o de los impuestos es demasiado bajo, no producirá la cantidad de ingresos que pretendía recaudar el fisco; pero si el incremento de los impuestos es demasiado fuerte, puede crear una depresión económica con alto desempleo que además del problema laboral, puede bajar los

ingresos fiscales aún por debajo de la situación original. De ahí, la necesidad, de conocer el efecto sobre la economía nacional, que producirá la variable independiente "aumento fiscal".

Se formularían entonces una serie de hipótesis de la siguiente forma: Si aumenta el impuesto sobre el ingreso en 1 por ciento, entonces las ventas del comercio se reducirán en 0.5 por ciento. Si aumenta el impuesto sobre el ingreso en 2 por ciento, las ventas del comercio se reducirán en 2 por ciento, etcétera.

La contrastación de esas hipótesis se hará mediante modelos de computación. Sin embargo, la contrastación científicamente válida es, como siempre, sobre el fenómeno (objeto de investigación) real; es decir, cuando se aplica el incremento fiscal y se pueden medir las consecuencias sobre la capacidad y el comportamiento de adquisición de los consumidores empíricamente, i.e., en la baja de las compras y la variación del ingreso fiscal.

La hipótesis causal debe tener la forma lógica-sintáctica de un enunciado o una proposición condicional, también llamada hipotética: *Si/cuando* x..., *entonces*...y; este enunciado expresa que bajo la condición de que se realice el evento *x* se realizará también el evento *y*. Dicho de otra manera: después del *Si* o *cuando*, el investigador tiene que poner siempre la variable independiente (la causa) de la relación causal que investiga, y después del *entonces* seguirá siempre la variable dependiente (el efecto).

Esta construcción condicional de la hipótesis causal es de gran ventaja para el investigador principiante, porque le ayuda a evitar uno de los errores más comunes en la construcción de la hipótesis: la

confusión entre causa y efecto, entre variable independiente y variable dependiente. Frecuentemente, el principiante invierte el orden y pone la variable dependiente en el lugar de la independiente, es decir, hace que la causa siga al efecto. Ejemplos de este error son: Si la gente no entra en el balneario, es porque la entrada cuesta demasiado. Si me rompí la pierna, es porque pisé mal. Los cuerpos son dilatados por el calor, etcétera.

Para llegar a la forma condicional de *Si*...x, *entonces*...y, se recomienda que el principiante proceda en dos pasos. Primero se utiliza un enunciado o una proposición afirmativa simple. Recordemos que una proposición simple es un enunciado o una frase que afirma o niega algo. En su forma clásica está compuesta por tres elementos, a saber: el sujeto – el verbo – y el complemento. Una proposición que satisface esta condición es la frase: *El calor dilata los cuerpos.*

Al reflexionar sobre la relación causa-efecto en los términos expuestos anteriormente, el alumno se dará cuenta que la secuencia de la variable independiente y dependiente es correcta: la causa (el calor) precede al efecto (dilata los cuerpos). Ahora puede proceder al segundo paso que consiste en convertir el enunciado afirmativo en un enunciado condicional, compuesto por dos proposiciones que se relacionan mediante la expresión "Sí entonces". La proposición "El calor dilata los cuerpos" asume entonces la forma: Si aplico calor a un cuerpo, entonces ese cuerpo se dilata.

Podemos construir otro ejemplo con la oración tópica no. 7 del tema de la acústica, que reza: El propósito de esta investigación es saber, si la mala acústica de las aulas del edificio H, planta baja, de la Universidad *X* perjudica el proceso de aprendizaje de los alumnos, la formulación de la hipótesis sería como sigue.

Primer paso: La acústica de las aulas del edificio H, planta baja, de la Universidad *X*, perjudica el proceso de aprendizaje de los alumnos. Segundo paso: Si la acústica de las aulas del edificio H, planta baja, de la Universidad *X* es deficiente, entonces perjudica el proceso de aprendizaje de los alumnos.

3.4 Hipótesis de relación estadística

Definición: *La hipótesis de relación estadística o asociación (tercer grado) es una conjetura científica (un enunciado) que, con fundamento en el conocimiento científico, trata de explicar una relación de dependencia estadística (o correlación) entre dos o más variables del objeto de investigación. La diferencia fundamental con la hipótesis causal es que la variable independiente y dependiente pueden invertir su lugar, lo que no es posible en la hipótesis causal. Ejemplos: A mayor nivel educativo, mayor ingreso. Inversión: A mayor ingreso, mayor nivel educativo.*

Cabe advertir al final de este capítulo que las relaciones de dependencia entre diversas variables son de las más complejas en el universo. En las así llamadas hipótesis estadísticas están relacionadas ambas variables de una manera real, de tal forma que cuando se modifica a una se observa un cambio en la otra: los valores de una dependen de los valores de la otra. Existe, por lo tanto, una relación asociativa o de co-varianza entre ambas. Por ejem-

plo, cuando la variable "ingreso *per capita*" aumenta su valor en la economía de un país, la variable "tasa de natalidad" varía también a mediano plazo, de tal manera que se puede establecer esa relación asociativa como: a mayor ingreso per capita, menor cantidad de niños en promedio. Pero lo mismo es válido para el ejemplo inverso, formulándose la hipótesis: a menor cantidad de niños en promedio, mayor ingreso *per capita*. Existe, pues, una influencia recíproca entre ambos factores.

Otro problema es la influencia de variables intervinientes, como muestra el siguiente ejemplo. En los Estados Unidos existe una correlación estadística positiva –es decir, una aparente influencia real– entre el crecimiento del pasto y la cantidad de personas que mueren ahogadas en un mes. Evidentemente y pese a la asociación estadística positiva, no puede haber una relación de causa y efecto entre ambos fenómenos, dado que no guardan una relación real entre sí. La explicación está en la influencia de una tercera variable que incide en el comportamiento de las otras dos: el clima. El crecimiento del pasto en un país depende, entre otros factores climatológicos, de la energía solar. En los meses de verano se da este clima propicio para el crecimiento vegetal, pero que al mismo tiempo calienta tanto a los lagos y ríos, que la gente suele ir a bañarse, lo que produce una serie de accidentes mortales. Una discusión más detallada de las relaciones estadísticas entre variables se encuentra en el capítulo siguiente, pero los ejemplos citados deben alertar al alumno de reflexionar sobre el carácter de la hipótesis que utilizará, para tener claridad sobre el planteamiento de la investigación y las formas de contrastación que exige.

4. Contrastación de la hipótesis

4.1 Causalidad y contrastación

***Definición**: La contrastación de la hipótesis es la actividad que, mediante la observación, la experimentación, la documentación y/o la encuesta sistemática, comprueba (demuestra) adecuadamente, si una hipótesis es falsa o verdadera.*

Antes de explicar el proceso de la contrastación de la hipótesis conviene concientizarnos sobre dos aspectos de esta problemática. El primero gira en torno a la pregunta, si es posible verificar una hipótesis –comprobar que es verdadera– o si existe alguna técnica o procedimiento de contrastación que permita inferir (concluir), que la hipótesis –o, también, una ley científica– sea definitivamente verdadera. En la historia de la ciencia se ha discutido el caso del *experimentum crucis*, es decir, de la prueba crucial, que nos decida definitivamente sobre la cuestión de la veracidad o falsedad de una hipótesis (o ley).

Mencionemos de paso que la diferencia principal entre una ley científica y una hipótesis científica consiste, en que la ley es una hipótesis múltiples veces confirmada –por ejemplo, "El calor dilata los cuerpos" o, "Siempre, cuando se rompe un fierro magnético en dos partes, las dos partes vuelven a ser magnéticas"–, mientras que la hipótesis es un enunciado sistemático avanzado para una primera contrastación.

Simplificando la respuesta a nuestro problema podemos decir que muchos científicos consideran, que en un sentido *riguroso*, la verificación definiti-